

ESTIMASI PARAMETER PADA MODEL GRAVITY DENGAN METODE ENTROPI-MAKSIMUM DAN FUNGSI HAMBATAN EKSPONENSIAL NEGATIF (STUDI KASUS KABUPATEN SUKOHARJO)

Elza M.P.¹⁾, Syafii²⁾, dan S. J. Legowo³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
^{2),3)} Dosen Pengampu Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 A, Ketingan, Surakarta 57126, Telp (0271)647069, Fax 662118
Email: elzaputri0406@gmail.com, syafii_hn@yahoo.com, slametlegowo@gmail.com

Abstract

As time goes by, people have migrated from one place to another to fulfill their individual needs such as working, schooling, shopping, recreation, entertainment, etc. Every movement obviously causes congestion, delay, noise, and air pollution. Thus, transportation planning is carried out by using the MAT (Origin Destination Matrix) with transportation modeling. The purpose of this study was to determine the value of β using the Gravity model with the Maximum Entropy method and the negative exponential resistance function. This research was conducted in Sukoharjo Regency, which is part of the residency of Surakarta. In addition, the zoning split was carried out based on the number of sub-districts, including 19 internal and 12 external zones. OD-Matrix was done by using EMME/3 program and the Gravity model. In this model, there was a β parameter value that functioned as the determinant of the distribution value on each zone. The method was used to obtaining the β parameter value by applying the Newton-Raphson Calibration Method. The generated traffic flow values were charged to the User Equilibrium inflection, which produced the traffic volume on each road calculating its validity level by using the (R^2) determination coefficient. The result of the modeling showed that the validity test was very high, which the R^2 value is 0.803 so that it was stated that the traffic flow from the modeling was close to the traffic flow generated from the traffic count, and the value of the β parameter from the Newton-Raphson Calibration calculation equalled to 0,080, which was calculated by using the Microsoft Excel program. Meanwhile, the estimated movement, which was using the Gravity model was 16366 pcu / hour with the largest total movement generated from the external zone to the external zone, which was with the total of 10909 pcu / hour (66,68%).

Keywords: EMME/3, Gravity Model, Maximum Entropy Method, Microsoft Excel, OD-Matrix

Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman, manusia melakukan pergerakan dari satu tempat ke tempat lain untuk memenuhi kebutuhan setiap individu, seperti bekerja, sekolah, belanja, dan masih banyak lagi. Setiap pergerakan yang ditimbulkan menyebabkan kemacetan, kelambatan, kebisingan, serta polusi udara, sehingga dilakukan perencanaan transportasi menggunakan MAT (Matrik Asal Tujuan) dengan pemodelan transportasi. Penelitian ini bertujuan untuk mencari nilai parameter β menggunakan model Gravity dengan metode Entropi Maksimum dan fungsi hambatan Eksponensial Negatif. Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Sukoharjo yang dimana termasuk dalam bagian karesidenan Kota Surakarta. Selain itu, pembagian zona dilakukan berdasarkan jumlah kecamatan yaitu 19 zona internal dan 12 zona eksternal. Estimasi MAT ini dilakukan menggunakan model Gravity dan dibantu dengan program EMME/3. Model Gravity ini terdapat nilai parameter β yang berfungsi sebagai penentu besarnya nilai sebaran pada tiap zona. Metode yang digunakan untuk mencari nilai parameter β menggunakan metode kalibrasi Newton-Raphson. Nilai arus lalu lintas yang dihasilkan akan dibebankan pada pembebanan User Equilibrium yang menghasilkan volume lalu lintas pada tiap ruas jalan, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung tingkat validitas menggunakan koefisien determinasi (R^2). Hasil dari pemodelan menunjukkan uji validitasnya sangat tinggi yaitu nilai R^2 sebesar 0,803 sehingga dinyatakan bahwa arus lalu lintas hasil pemodelan mendekati sama dengan arus lalu lintas hasil traffic count, dan besaran nilai parameter β dari perhitungan Kalibrasi Newton-Raphson sebesar 0,070 yang dihitung menggunakan program Microsoft Excel. Sedangkan estimasi pergerakan dengan Model Gravity sebesar 16.366 smp/jam dengan total pergerakan terbesar dihasilkan dari zona eksternal menuju ke zona eksternal sebesar 10.909 smp/jam (66,68%).

Kata kunci: EMME/3, MAT, Metode Entropi Maksimum, Microsoft Excel, Model Gravity

PENDAHULUAN

Transportasi sangatlah penting untuk kehidupan ini, apa lagi pada zaman sekarang sangat diperlukan sekali untuk melakukan aktivitas. Semua orang melakukan pergerakan untuk memenuhi kebutuhan setiap individu. Pergerakan adalah aktivitas yang kita lakukan sehari - hari dari zona asal (i) ke zona tujuan (j) guna untuk berbagai macam alasan, seperti: bekerja, sekolah, berbelanja, hiburan, rekreasi, dan masih banyak lagi. Saat bergerak atau bepergian kita menempuh jarak yang berbeda - beda ada jarak dekat maupun jarak jauh. Dengan demikian, daya tampung jaringan transportasi harus dapat menampung pergerakan. Kebutuhan pergerakan akan selalu menimbulkan masalah, khususnya saat jam puncak di mana kita bepergian ke suatu daerah di mana daerah tersebut juga dikunjungi oleh

pergerakan lainnya secara bersamaan. Permasalahan tersebut adalah kemacetan, kelambatan, polusi udara, dan kebisingan. Oleh karena itu, perlu dipahami pola pergerakan yang terjadi saat ini dan saat yang akan datang agar transportasi dapat berjalan dengan baik.

Pola pergerakan sering dijelaskan dalam bentuk arus pergerakan yang bergerak dari zona asal (i) ke zona tujuan (j) pada daerah dan waktu tertentu. Perencana transportasi sering menggunakan MAT (Matrik Asal - Tujuan) untuk menggambarkan pola tersebut. Dalam perencanaan transportasi model yang sering digunakan ada 4 (empat) tahapan model yaitu; *Trip Generation*, *Trip Distribution*, *Modal Choice*, dan *Trip Assignment*. Pada penelitian ini model yang akan dibahas adalah pemodelan *Trip Distribution* atau Distribusi Pergerakan, yang disajikan dalam bentuk MAT (Matrik Asal - Tujuan).

Pada penelitian ini menggunakan studi kasus di Kabupaten Sukoharjo, karena Kabupaten Sukoharjo merupakan salah satu kabupaten yang termasuk Karesidenan Surakarta yang terletak di sebelah selatan Kota Surakarta. Kabupaten dengan slogan “Sukoharjo Makmur” ini sedang dalam proses pertumbuhan dan perkembangan yang pesat. Seperti halnya kota - kota lainnya, Kabupaten Sukoharjo ini sendiri termasuk kota yang memiliki jumlah penduduk sebanyak 906.403 jiwa pada tahun 2019 yang membuat daerah ini menjadi padat, sehingga banyak sekali yang melakukan interaksi dengan banyak pihak dan tempat. Hal tersebut menyebabkan peningkatan jumlah pergerakan.

KAJIAN LITERATUR

Transportasi menurut Tamin tahun 2000 menyatakan bahwa model perjalanan pada sistem transportasi menjelaskan bentuk arus perjalanan (alat transportasi, penumpang, serta barang) yang berjalan berawal daerah asal ke daerah tujuan di suatu wilayah tertentu serta sepanjang durasi waktu tertentu. Matrik Pergerakan atau Matrik Asal Tujuan (MAT) kerap dipergunakan bagi para ahli transportasi untuk mendiskripsikan perjalanan tersebut.

Fika Zusanti (2016) mengestimasi distribusi perjalanan di Kota Surakarta pada tahun 2025 dengan memakai Model Gravity batasan bangkitan dan tarikan yang bertujuan untuk mengetahui nilai parameter β sebagai fungsi hambatan *tanner* dan juga untuk mengetahui distribusi perjalanan di Kota Surakarta pada tahun 2025. Parameter β yang merupakan fungsi hambatan *tanner* diperoleh dengan menggunakan Metode Kalibrasi Newton-Raphson dan bantuan *software* Matlab. Besar nilai parameter β yang dihasilkan adalah 0,00084. Total estimasi distribusi perjalanan di Kota Surakarta pada tahun 2025 sebesar 56.029 smp/jam dengan tingkat validitas yang menggunakan koefisien determinasi (R^2) adalah 0,8753. Penelitian lainnya dilakukan oleh Nuning (2018) mengestimasi matrik asal tujuan dari data lalu lintas dengan metode Kemiripan Maksimum yang bertujuan untuk mengetahui estimasi pergerakan eksternal angkutan barang pada tahun 2025. Model *gravity* adalah metode yang digunakan untuk membangun matrik OD. Hasil dari penelitian ini diperkirakan total matrik OD angkutan barang pada jam puncak sebesar 2.643 smp/jam, nilai parameter β adalah 0,08142. Serta pergerakan tertinggi terjadi pada zona luar koridor Timur-Barat dengan total 606.501 smp/jam.

Perbandingan kajian ini dengan kajian sebelumnya ialah kajian ini dikasanakan di Kabupaten Sukoharjo, sedangkan kajian sebelumnya di Kota Surakarta, serta kajian ini menggunakan cara Kalibrasi Newton-Raphson menggunakan pendekatan Entropi Maksimum dan fungsi hambatan eksponensial negatif.

Matrik Asal Tujuan

Matrik Asal Tujuan merupakan matrik berukuran dua yang memuat penjelasan perihal perpindahan pergerakan di suatu daerah tertentu. Daerah awal diletakan pada baris dan daerah akhir diletakan pada kolom. Penelitian ini menggunakan metode sintesis untuk mengestimasi MAT guna mengetahui distribusi perjalanan yang ada pada jaringan jalan Kabupaten Sukoharjo. Metode sintesis yang kerap dipergunakan adalah model *Gravity* (GR), metode ini mudah dimengerti yang dikenalkan oleh Newton yang dikembangkan dari hukum gravitasi.

Maximum Entropy Method

Maximum Entropy Method ini digunakan guna memperoleh data semua status mikro yang hendak terjadi dengan kemungkinan yang sama dengan data status makronya. Entropi Maksimum menghasilkan parameter β (beta) yang merupakan nilai hubungan antar zona. Setelah menghasilkan nilai parameter β maka dilakukan pembebanan ke

sistem jaringan transportasi yang hasilnya akan diuji validitasnya seraya menyamakan hasil arus lalu lintas pemodelan dan hasil pengamatan di lapangan (*traffic count*). Proses pembebanan MAT ini dibantu dengan perangkat lunak EMME/3 (*Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium*).

METODE PENELITIAN

Tamin, (2008) Model *Gravity* merupakan model yang sering kali dipergunakan sebab sangat simpel serta mudah dipahami, model ini memakai kata *gravity* yang dikenalkan oleh Newton di tahun 1686 yang dikembangkan dari analogi hukum gravitasi. MAT yang menggunakan model *gravity* memiliki persamaan menjadi berikut:

$$T_{id} = O_i \cdot D_d \cdot A_i \cdot B_d \cdot F(C_{id}^{-\beta}) \dots\dots\dots [1]$$

dimana :

- T_{id} = Jumlah pergerakan dari zona asal (i) ke zona tujuan (j)
- A_i . B_d = Faktor penyeimbang setiap zona asal (i) ke zona tujuan (d)
- O_i = Total pergerakan dari zona asal (i)
- B_d = Total pergerakan ke zona tujuan (j)
- F(C_{id}^{-β}) = Fungsi biaya perjalanan

Penelitian ini menggunakan fungsi hambatan Eksponensial Negatif dan batasan bangkitan-tarikan pergerakan, yang memiliki persamaan [2] dan [3] seperti dibawah ini:

$$(C_{id}) = e^{-\beta C_{id}} \dots\dots\dots [2]$$

$$A_i = \frac{1}{\sum d(B_d \cdot D_d \cdot f_{id})} \text{ dan } \frac{1}{\sum i(O_i \cdot O_i \cdot f_{id})} \dots\dots\dots [3]$$

Secara teoritis, *Maximum Entropy Method* digunakan untuk menginformasikan semua status mikro yang akan timbul dengan kejadian yang tidak berbeda dan konstan menggunakan data status makronya. Total status mikro (W[T_{id}]) menurut Wilson (1970) yang terkait dengan status meso T_{id} adalah menjadi berikut:

$$W[T_{id}] = \frac{T!}{\prod i! \prod dT_{id}!} \dots\dots\dots [4]$$

Sedangkan Secara matematis, manfaat yang dimaksud dengan cara perhitungan Entropi Maksimum (EM) dapat disebutkan pada persamaan menjadi berikut:

$$E_i = \log_e W'' = -\sum i \sum d \left(T_{id} \log_e \left(\frac{T_{id}}{T_{id}} \right) - T_{id} \right) + T_{id} \dots [5]$$

untuk memaksimumkan Persamaan [5], ada syarat parameternya harus sama dengan nol, dengan persamaan berikut:

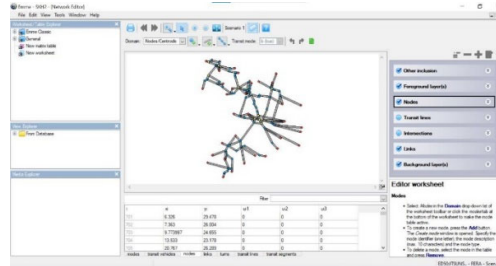
$$\frac{\partial E_i}{\partial \beta} = f_\beta = -\sum i \sum d \left[\left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right) \left(\log_e \frac{T_{id}}{T_{id}} \right) \right] = 0 \dots\dots\dots [6]$$

Pada persamaan (6) ada parameter yang belum disebutkan (β), untuk mengetahui nilai parameter tersebut dikombinasikan dengan cara Newton-Raphson menggunakan program Microsoft Excel.

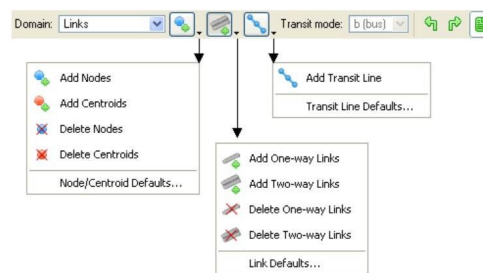
EMME (*Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium*)

Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium ialah program ahli yang dapat memperkirakan sebuah arus pergerakan. EMME/3 ini merupakan perbaharuan dari EMME/2 yang dirancang dan berkembang pada INRO Consultant University de Montreal, Kanada menggunakan daya yang *unlimited* atau dapat menjangkau mendekati 1 juta simpul. Selain itu, kelebihan yang lain ialah metode mampu diolah sendiri seperti kondisi dan keperluan. Contohnya, perhitungan kapasitas dan waktu tempug yang diadaptasikan menggunakan MKJI 1997. Hasil mengenai program ini

berbentuk ilustrasi, numerik, serta SIG (Tamin, 2008). EMME/3 menyediakan pendekatan fleksibel, terbuka ke modeling yang memberi pengguna kebebasan dalam menentukan teknik atau membuat metode sendiri sesuai kebutuhan. Berikut adalah bagian-bagian penting dalam program EMME/3 untuk menggambarkan bentuk jaringan jalan yang diteliti:



Gambar 1. *Network Editor*



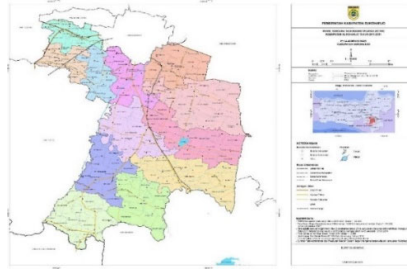
Gambar 2. *Toolbar Editor*

Pada Gambar 1 dan 2 diatas merupakan bagian terpenting dalam program EMME/3, dimana *Network Editor* ini diperintahkan untuk pembuatan jaringan jalan, sedangkan *Toolbar Editor* adalah tombol navigasi untuk mengaplikasikan pembuatan jaringan jalan.

Lokasi Penelitian

Kabupaten Sukoharjo adalah lokasi pada kajian ini yang termasuk Karesidenan Surakarta di Provinsi Jawa Tengah. Kabupaten Sukoharjo letaknya di sebelah selatan Kota Solo, secara letak geografis Kabupaten Sukoharjo terletak pada $110^{\circ} 42' 06,79''$ – $110^{\circ} 57' 33,70''$ Bujur Timur dan $7^{\circ} 32' 17,00''$ – $7^{\circ} 49' 32,00''$ Lintang Selatan. Kabupaten Sukoharjo memiliki luas wilayah $\pm 489,12$ km². Kabupaten Sukoharjo secara administrasi terbagi menjadi 12 kecamatan yang terdiri dari 150 desa dan 17 kelurahan, merupakan Ibukota Kabupaten yang terletak di Kecamatan Bendosari yang berjarak 12 km dari Kota Surakarta. Jumlah penduduk pada tahun 2019 semester 2 mencapai 906.403 jiwa (Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Kabupaten Sukoharjo). Penelitian ini dibagi menurut zona kecamatan yang terdapat di Kabupaten Sukoharjo, zona pada kajian ini menjadi zona internal sinkron dengan jumlah kelurahan dan zona eksternal yang berasal dari Kabupaten Boyolali, Kota Surakarta, Kabupaten Klaten, Provinsi DIY, Kabupaten Wonogiri, dan Kabupaten Karanganyar. Lokasi survei ditentukan berdasarkan klasifikasi fungsi jalan, tata guna lahan di sekitarnya, tingkat kepadatan lalu lintas, dan ruas jalan pada jaringan jalan yang ada di Kabupaten Sukoharjo.

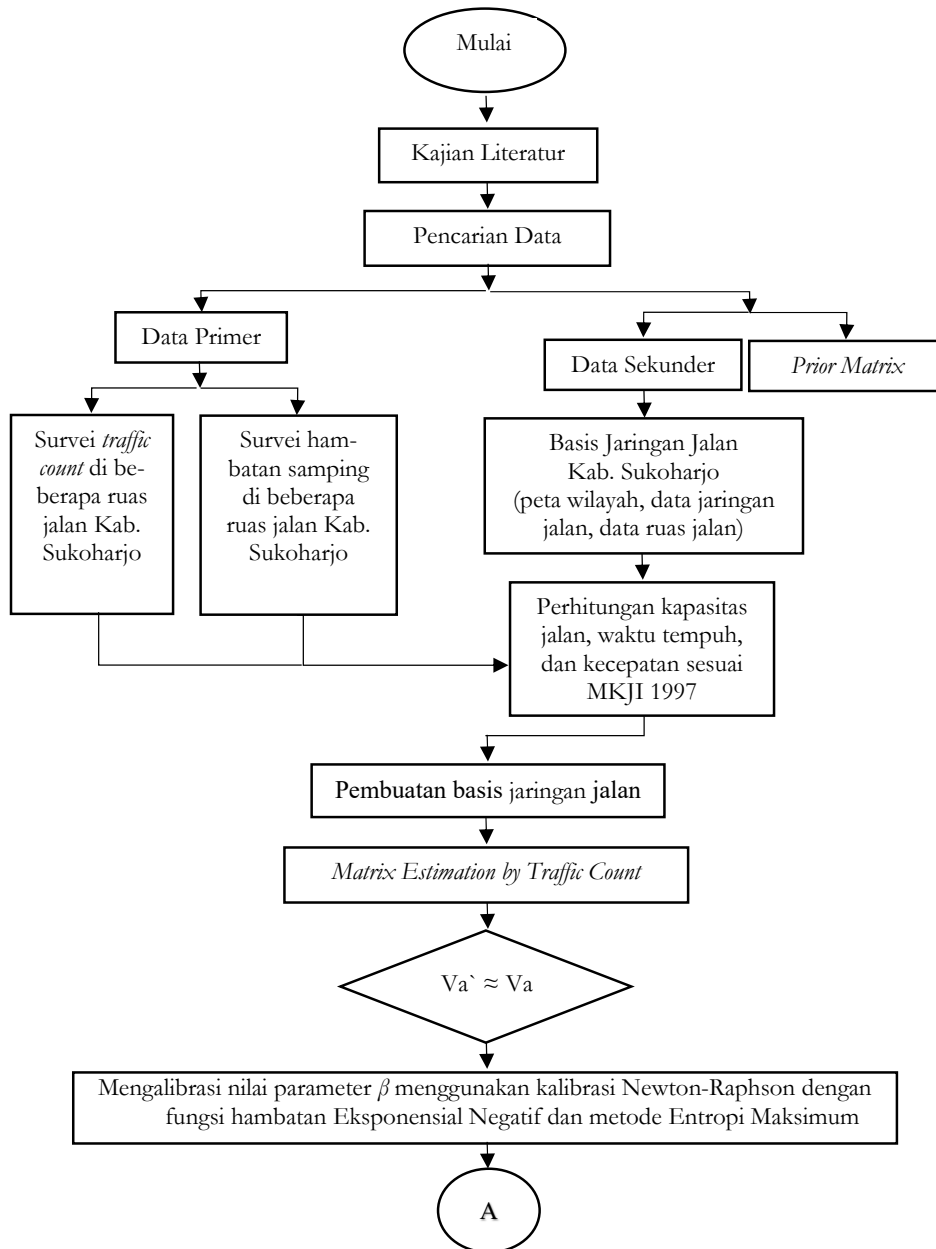
Waktu yang dilakukan untuk survei yaitu pada jam puncak pagi hari dengan pertimbangan survei pendahuluan menggunakan CCTV di 6 titik yang ada di Kabupaten Sukoharjo selama dua jam yaitu jam 06.00 – 08.00 WIB dan dipilih waktu satu jam yang memiliki arus perjalanan yang tertinggi yaitu pada pukul 07.00 – 08.00. Titik survei yang dilakukan sebanyak 31 titik, dimana 19 titik zona internal dan 12 titik zona eksternal.

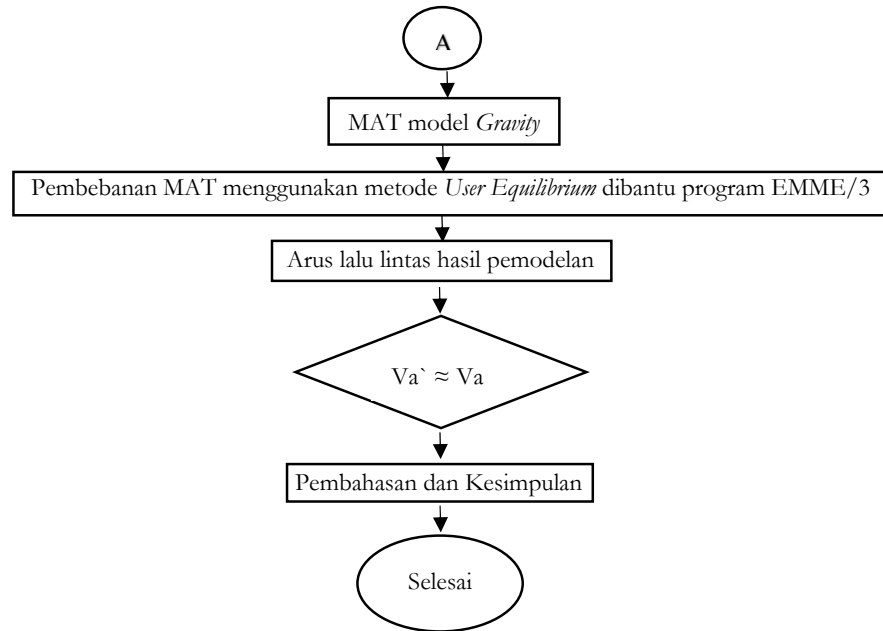


Gambar 3. Peta Administrasi Kabupaten Sukoharjo

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang telah diselesaikan dapat dilihat pada bagan dibawah ini;





Gambar 4. Diagram alir tahapan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

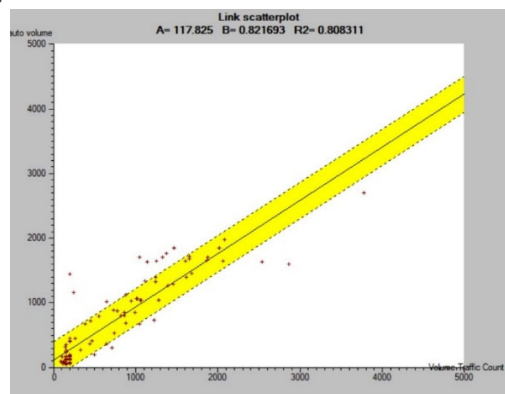
Proses perhitungan estimasi MAT dengan data lalu lintas diperlukan matrik awal (*prior matrix*). Dimana pada penelitian Kabupaten Sukoharjo ini belum memiliki *prior matrix* sehingga semua isi sel *matrik* di asumsikan dengan angka 1. MAT Kabupaten Sukoharjo tahun 2021 adalah estimasi dari *prior matrix* yang dihitung berdasarkan data lalu lintas atau *matrix estimation by traffic count* dengan program EMME/3 melalui langkah *prompt console* berupa garis perintah yang kemudian di *running* akan mendapatkan *matrik* yang tersimpan pada mf3 (*full matrix 3*). Setelah tersimpan kemudian di *export* ke Microsoft Excel untuk mempermudah menganalisis pergerakan semua zona.

Kalibrasi Newton-Raphson

Kalibrasi Newton-Raphson dihitung setelah memperoleh nilai matrik biaya (C_{id}) dan matrik perjalanan (T_{id}) hasil dari *traffic count*. Kalibrasi Newton-Raphson ini digunakan guna mencari nilai parameter β sebagai fungsi hambatan antar zona. Kalibrasi ini dihitung menggunakan metode Entropi Maksimum dan fungsi hambatan eksponensial negatif yang dibantu dengan Microsoft Excel didapatkan hasil parameter β sebesar 0,080.

Uji Validitas

Uji validitas ini didapatkan dari program EMME/3 menggunakan perhitungan regresi linier. Nilai koefisien determinasi (R^2) mencapai 1 membuktikan bahwa persentase kemiripan yang tinggi antar arus hasil *traffic count* serta hasil pemodelan. Penelitian ini menghasilkan nilai R^2 sebesar 0.8083.

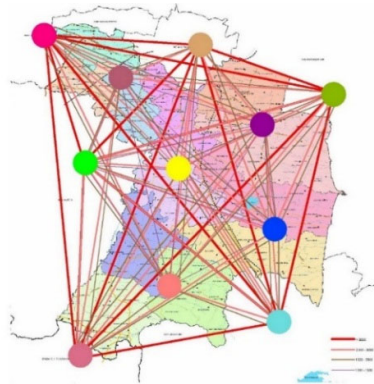


Gambar 5. Grafik uji validitas arus hasil *Traffic Count* dan arus hasil pemodelan

Pada Gambar 5 diatas merupakan grafik uji validitas yang didapat dari program EMME/3 berfungsi untuk mengetahui tingkat kesamaan antara arus hasil pemodelan dan arus hasil pengamatan.

Estimasi Distribusi Perjalanan

Hasil analisis yang dilakukan Kabupaten Sukoharjo didapat total pergerakan sebesar 16.366 smp/jam. Hasil ini dituangkan ke dalam bentuk garis keinginan (*desire line*) yang dapat di lihat pada Gambar 6. Gambar ini menunjukkan total pergerakan eksternal dan internal, dimana ada 6 titik zona eksternal dan 5 titik zona internal.



Gambar 6. *Desire Line* Kabupaten Sukoharjo

Detail dari *desire line* diatas dapat dilihat dari grafik pergerakan antar zona yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini;



Gambar 7. Grafik pergerakan antar zona

Pada hasil analisis data diatas diperoleh total perjalanan di Kabupaten Sukoharjo pada tahun 2021 yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini;

Tabel 1. Pergerakan antar zona

Jenis Pergerakan	Jumlah Pergerakan	Persentase (%)
Eksternal – eksternal	10.909	66,68%
Eksternal – internal	2.794	17,08%
Internal – eksternal	1.358	8,30%
Internal – internal	1300	7,94%
Total	16366	100%

SIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan dari hasil penelitian, analisis, dan pemahasan diatas sebagai berikut:

1. Perhitungan parameter β yang melambangkan fungsi hambatan eksponensial negatif dihasilkan dari perhitungan Kalibrasi Newton-Raphson menggunakan program Microsoft Excel senilai 0,080

2. Estimasi distribusi pergerakan Kabupaten Sukoharjo menggunakan model *Gravity* batasan bangkitan-tarikan diperoleh jumlah pergerakan pada tahun 2021 senilai 16366 smp/jam. Nilai pola pergerakan yang terdapat seperti berikut:
Internal – internal = 1.300 smp/jam (7,95%);
Internal – eksternal = 1.358 smp/jam (8,30%);
Eksternal – internal = 2.794 smp/jam (17,08%);
Eksternal – eksternal = 10.909 smp/jam (66,68%)
3. Total pergerakan antar zona diatas menunjukkan persentase tertinggi dan terendah terjadi pada zona eksternal – eksternal dan zona internal – internal.
4. Perhitungan uji validitas menggunakan koefisien determinasi (R^2) guna membandingkan arus lalu lintas hasil *traffic count* dengan hasil pemodelan didapat hasil senilai 0,8083. Hasil R^2 ini termasuk pada kategori validitas sangat tinggi.

REKOMENDASI

Penelitian ini masih perlu di perbaiki untuk penelitian selanjutnya pada estimasi perjalanan Kabupaten Sukoharjo, agar mendapatkan hasil yang lebih baik lagi maka diberikan saran sebagai berikut:

1. Mencari basis data jaringan jalan Kabupaten Sukoharjo dari instansi terkait seperti DPUPR dan atau BAPPELBANGDA yang sudah di perbaharui agar mendapatkan hasil pemodelan yang lebih mendekati kondisi lapangan.
2. Perlu menambahkan titik survei, karena lebih banyak titik survei yang dilakukan maka data yang di dapat akan sama dengan kondisi lapangan, dan
3. Perlu adanya penelitian tentang karakteristik berbagai pengguna jalan pada pergerakan bangkitan dan tarikan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan pada bapak pembimbing 1 (satu) dan 2 (dua) yaitu Dr. Eng. Ir. Syafi, M.T. dan Slamet Jauhari Legowo, S.T., M.T., serta orang tua dan sahabat-sahabat penulis yang telah mendukung dalam penulisan skripsi ini dari awal hingga selesai tepat pada waktunya.

REFERENSI

- Anonim, 1997, “Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997”, Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum RI. Jakarta.
- Fauzan, Atha KD, 2019, “Studi Peramalan Jaringan di Kota Surakarta pada Tahun 2035 dengan Jalan Tetap dan dengan Penambahan Jaringan Jalan Baru”, Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Monica, Elfa Z, 2015, “Estimasi Matrik Asal Tujuan (MAT) dari Data Arus Lalu Lintas dengan Metode Estimasi Kuadrat Terkecil Menggunakan Piranti Lunak EMME/3 (Studi Kasus Kota Surakarta)”, Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Nuning, Syafi'i, dan Handayani, Dewi., 2018, “Forecasting of Origin-Destination Matrix of Freight Transportation of Surakarta with Maximum Likelihood Method”, Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Septiyani, Wulan, 2015, “Estimasi Matrik Asal Tujuan Perjalanan dengan Model Gravity Batasan Bangkitan Pergerakan (Studi Kasus Kota Surakarta)”, Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Tamin, O.Z., 2000, “Perencanaan dan Permodelan Transportasi”, ITB Press. Bandung
- Tamin, O.Z., 2008, “Perencanaan, Permodelan, dan Rekayasa Transportasi”, ITB Press. Bandung.
- Zusanti, Fika., Syafi'i., dan Slamet, Jauhari Legowo., 2016, “Estimasi Distribusi Perjalanan Kota Surakarta Tahun 2025 menggunakan Model *Gravity*”, Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta.